



TITLE:

中間結合電子-格子系での若干の問題点(II. 電子-格子相互作用,強結合電子・格子系の動的物性,科研費研究会報告)

AUTHOR(S):

黒沢, 達美

CITATION:

黒沢, 達美. 中間結合電子-格子系での若干の問題点(II. 電子-格子相互作用,強結合電子・格子系の動的物性,科研費研究会報告). 物性研究 1982, 38(2): A17-A18

ISSUE DATE:

1982-05-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/90606>

RIGHT:

§0.

中間程度 ($\alpha = 3 \sim 5$ くらい) の強さで相互作用する電子-極性光学フォノン系の問題は、いわゆる large polaron の範疇に属し、多くの理論的そして比較的少数^①実験的研究がなされてゐる。大抵の現状認識としては、難しい問題はまだまだ残されてゐるにしても、定性的には或いは概念的にはほぼ理解されてゐる、という所であるかと思う。今に実際に実験データも理論的計算と比べようとしても、いろいろのパラメーターのあいまいさのため直接には対決させる出来ない場合が多い。

しかし最近、ハロゲン化銀などで結度の高い結晶が得られるようになり、低温での輸送現象の詳しい測定結果を理論と比較するといくつか簡単に理解し難い現象が見出される。

§1.

その一つは AgCl , AgBr などに直交する電場と磁場 $E (\parallel x)$, $H (\parallel z)$ を加えた場合に見られる。この場合電子の運動量空間内での自由運動は $p_y = m^* c E / H (\equiv p_c)$ を中心とする角速度 $\omega_c (= eH / m^* c)$ での円運動となる(図1)。試料が結晶で低温 ($kT \ll \hbar \omega_p$, ω_p は光学フォノンの振動数) の時、 E/H も適当にとると、図の斜線の部分に集中した電子分布が生ずる。ここで点線は $\hbar \omega_p$ の等エネルギー面をあらわす。すなわち電子は C を中心とした円運動を行うが、斜線部分より外側を回る電子は軌道上で $\hbar \omega_p$ 以上のエネルギーに達し、光学フォノンとの強い相互作用によってすぐにフォノンも放出するため運動が中断される。一方内側の電子は、低温で結晶のため、かなり長時間円運動を続ける。こうしていわば吹流りの様に電子が蓄積する。

これを前置き、これから本論に入る。実際にこの様な分布が生じていることはホール角の測定などによって実験的に確かめられる。さらにどの程度の蓄積がおこっているかも分る。その結果は傾向としては部分的に理論的計算に一致する。しかし次の様な不一致が見られる。

(1) 電子と光学フォノンとの相互作用が充分に強い時、蓄積領域の外側を回る電子はエネルギー $\hbar \omega_p$ に到達すると直ちにフォノンも放出して $p = 0$ に落ちる。この時の残りエネルギーが小さい

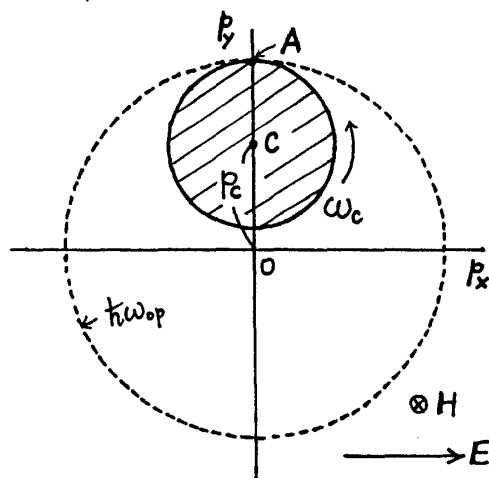


図 1.

いならば、電子の蓄積は余り起らない。すなわち電子-光学フォノン相互作用の強さ、対 E (又は H) の比がある程度大きくなると蓄積は減る。そしてハロゲン化銀では、光学フォノンによる散乱頻度を、普通の氷からの振動計算によるものの $1/3$ 程度に減らさないと実験で得られる様な蓄積が説明できない。しかしこれは恐らく $\hbar \omega_p$ 以上の散乱時間が短く、そのためフォノン放出後のエネルギーに拘束が生じているのだと考えてよいだろう。

(2) 電子の蓄積は、比 E/H が一定の時理論的には ω_c とともに増加する。すなわち一旦蓄積領域に入れた時の寿命 (すなわち散乱時間) はほぼ一定であるのに対し

て領域外での軌道上のものは ω_c^{-1} に比例するので、内外の寿命比はほぼ ω_c に比例する。ところが実験データによれば集中度は ω_c を増していく時、最初は増加するがやがて飽和する。すなわち蓄積領域での寿命も ω_c に逆比例するよう思われる。あたかも回転する電子が A 点の近くを通過するたびに、ある確率 (ω_c に依存しない) で領域外にはじき出される様に見える。一寸理解に苦しむ現象である。

§2.

図2は AgCl に低温で強い静電場 E を加えた時 (たゞし $H=0$) の電流 J とドリフト速度 v_d の測定値である。傾向は AgBr についてほぼ同じである。 E が小さい時には ohmic であるが、 E が大きくなると非線型となり、更に充分強い電場の下では v_d はほぼ $v_{op}/2$ に飽和する。 v_{op} は ω_{op} に相当する速度である。これは図中の右下にあるような電子分布、すなわち電子が $p \approx 0$ の辺りからほとんど散乱されことなく v_{op} まで加速

され光学フォノンを出しては $p \approx 0$ に戻るといった線近き運動 (いわゆる streaming motion), に相当するものと思われる。一方 J/v_d は最初は一定値を保っているが streaming motion の開始の辺りから急に大きくなる。これは電子のトラップされつぎの寿命 τ_t が E とともに長くなるからである。何故長くなるのか? 単純に考えると、 τ_t が電子のエネルギーの関数になっていて、 E の増えとともに電子分布が高エネルギー側に寄るためのように思われる。しかし計算結果は、一方では

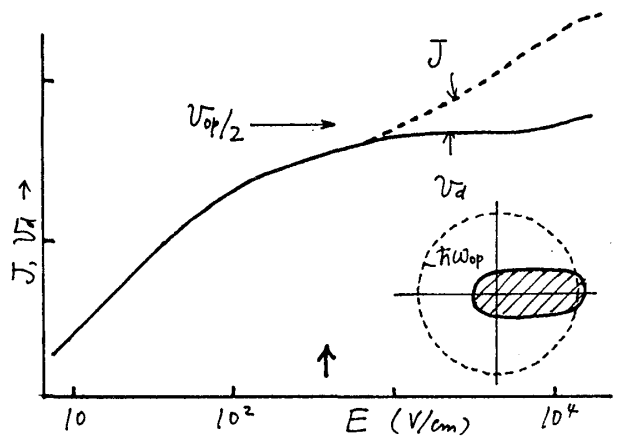


図 2

実験の v_d が E の関係も非常によく再現するにもかかわらず、電子のエネルギー分布は図の \uparrow の辺りから右ではあまり変化しない。少なくとも $\langle \tau_t \rangle$ の大きな変化をみえおこすことはできずもない。一方結度のや、更に試料が測定すると、 τ_t が長くなり始める E の値は大きくなるが、その位置はやはりほぼ streaming の始まる場所に一致する。このことはトラップ準位から電場によって電子がはじき出されるのではないかという想像によって都合が悪い。

さらに §1. と同じく E とともに H も加えた場合には、図1の様な分布の時には τ_t は弱電場の時の値を保っている (E が大きいても)。しかし E/H の比を大きくすると τ_t は段々長くなり、C 点が A 点より上に近づくほど磁場のなる時と同じになる。あたかも光学フォノンの頻繁な放出が τ_t を長くしている様に見える。

これらの現象は電子の加速と散乱 (特に光学フォノンの放出) とを分離し、後者をゼロ過程的に扱う普通の扱いがなり立たなくなることを受けているように見える。

なお実験データについては S. Komiyama, T. Masumi & K. Kajita: Phys. Rev. B 20 (1979) 5192. が詳しい。それ以前の ref. にも詳しい。